

#2



RECEIVED	
27 FEB 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 56 693.3

**Anmeldetag:** 04. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** Süss MicroTec Lithography GmbH,  
85748 Garching/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zur Vorbehandlung der  
Oberflächen von zu bondenden Halbleitersubstraten

**IPC:** H 01 L 21/58

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 15. Januar 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wallner

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Verfahren und Vorrichtung zur Vorbehandlung der Oberflächen von zu bondenden  
Halbleitersubstraten**

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bonden von Halbleitersubstraten und insbesondere zur Vorbehandlung der Oberflächen von Halbleitersubstraten vor einem Bonden der Halbleitersubstrate.

- 10 Beim Bonden (Verbinden) von Halbleitersubstraten, wobei je eine Oberfläche der Halbleitersubstrate miteinander fest verhaftet werden, spielt die Beschaffenheit der zu verbindenden Oberflächen eine große Rolle. Die physikalische und chemische Oberflächenbeschaffenheit hat einen direkten Einfluß auf die Haftfestigkeit der zu verbindenden Substrate. So können insbesondere die Oberflächen-Rauhigkeit (makroskopisch und mikroskopisch), eventuelle Zwischen- und Grenzschichten und die Oberflächenenergie  
15 bzw. Oberflächenspannung das Bondergebnis beeinflussen.

- Es ist bereits bekannt, daß die Substratoberflächen mittels Plasma in einer Niederdruck-Plasmaanlage zu behandeln. Allerdings ist dieses Verfahren wegen der erforderlichen Niederdruck-Plasmaanlage apparativ aufwendig und wegen der Ein-/Ausschleusung der  
20 Substrate auch zeitaufwendig.

- Aus "Vakuum in Forschung und Praxis" 14 (2002), Nr. 3, Seiten 149-155 ist es an sich bekannt, Oberflächen von Festkörpern mittels Plasma bei Atmosphärendruck zu reinigen und zu beschichten. Die Druckschrift gibt eine Übersicht über entsprechende  
25 Beschichtungssysteme und Reinigungsverfahren. Außerdem wird der operative Aufbau einer Vorrichtung zur Beschichtung und Reinigung von Oberflächen mittels Atmosphärendruckplasmen dargestellt. Dabei werden mittels atmosphärischen Plasma, z.B. die Oberflächen von Metallen behandelt, um einen Korrosionsschutz zu erreichen, und die Oberfläche von Kunststoffen vor einer organischen Beschichtung modifiziert.

- 30 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein einfaches und kostengünstiges Verfahren und eine einfache und kostengünstige Vorrichtung zur Verfügung zu stellen, mit denen die Haftfestigkeit der gebondeten Substrate verbessert wird.

Die Aufgabe wird mit den Merkmalen der Patentansprüche gelöst.

Bei der Lösung geht die Erfindung von folgenden Grundgedanken aus.

5

Nachstehend wird eine Oberfläche eines Substrates, über die dieses Substrat mit einem anderen Substrat verbunden (gebonded) werden soll, als "Bondfläche" bezeichnet.

10

Vor dem Bonden wird mindestens eine der Bondflächen der zu verbindenden Halbleitersubstrate der Einwirkung eines atmosphärischen Plasmas ausgesetzt. In einer bevorzugten Ausführungsform wird das Plasma, das durch ein entsprechendes Gas gebildet wird, durch eine Koronaentladung erzeugt. In Abhängigkeit von der Verweildauer der Bondfläche im Plasma, der Energiedichte sowie der angelegten Spannung und Frequenz kann durch die Plasmabehandlung die Bondfläche gereinigt, chemisch aktiviert oder abgetragen werden, wobei sich auch eine Glättung, d.h. die Beseitigung von Rauigkeiten der Oberfläche ergibt. Wenn durch das Plasma eine Schicht auf der Oberfläche aufgetragen werden soll, wird das das Plasma bildende Gas so gewählt, daß es mit der Substratoberfläche reagiert, z.B. Sauerstoff zur Bildung von Isolatorschichten aus  $\text{SiO}_x$ . Die erfindungsgemäße Plasmabehandlung kann sowohl vor als auch nach naßchemischen Reinigungsverfahren erfolgen und als letzter Prozeßschritt vor dem Bonden der Substrate vorgesehen werden. Eine Vorrichtung zur Plasmabehandlung vor dem Bonden, die der im Stand der Technik bekannten Vorrichtung entsprechen kann, kann in einer Einheit mit einer Vorrichtung für Naßchemiebehandlung, wie sie in der PCT/EP01/07042 beschrieben und dort in der zugehörigen Fig. 1 gezeigt ist, und einer Vorrichtung zum Bonden von Substraten zusammengefaßt sein. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann jedoch auch räumlich getrennt von den Vorrichtungen für naßchemische Behandlung und das Bonden von Substraten angeordnet sein.

20

Der Vorteil der Erfindung liegt in einer einfachen und kostengünstigen Behandlung vor dem Bonden, wobei eine Erwärmung der Substrate und die Schädigung von temperaturempfindlichen Substraten vermieden wird. Bei der erfindungsgemäß bevorzugten Plasmaerzeugung durch Koronaentladung (dielektrische Barrierenentladung) bildet sich zwischen zwei leitenden Elektroden beim Anlegen einer Wechselspannung hinreichender

30

Größe eine Vielzahl lokalisierter Mikroentladungen aus, die eine sehr kurze Zeitdauer im Bereich von  $10^{-8}$  sec haben. Bei diesen Mikroentladungen werden Gase durch elektronische Anregung, Ionisation und Dissoziation aktiviert und chemisch reaktive Spezies gebildet. Dabei wird die mittlere Gastemperatur im Entladungsspalt um wenige Grad Kelvin erhöht.

- 5 Die Entladung bleibt also kalt und ist daher für das Bonden von Halbleitersubstraten sehr gut geeignet. Besonders vorteilhaft ist die Erfindung für das Direktverbinden (direct bonding) von Substraten, da dabei sehr saubere und glatte Oberflächen benötigt werden. Durch die Erfindung kann die Oberflächenenergie bzw. -spannung erhöht werden. Dadurch kann bei dem erforderlichen Ausheilen (Annealing) bei gleicher Bondfestigkeit mit deutlich geringeren
- 10 Temperaturen ausgekommen werden. Bei diesem Ausheilen werden die relativ schwachen Van-der-Waals Bindungen in kovalente (chemische) Bindungen umgewandelt.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- 15 Fig. 1 ein allgemeines Prinzipbild einer Plasmabehandlung der Oberfläche eines Halbleitersubstrats, und

Fig. 2 das Prinzipbild einer Vorrichtung zur Vorbehandlung von Bondflächen, die in der Erfindung eingesetzt werden kann.

20

- Figur 1 zeigt einen Querschnitt durch ein Halbleitersubstrat 1 auf einem Träger 4, auf das ein Plasma 2 einwirkt. Das Plasma 2 wird unterhalb einer Hochspannungselektrode 3 aus einem Prozeßgas erzeugt. Der Träger 4 für das Halbleitersubstrat dient als Gegenelektrode. Die Plasmaeinwirkung auf die Oberfläche 1a des Halbleitersubstrats 1 kann durch Bewegung der
- 25 Gegenelektrode 3 in horizontaler Richtung als auch durch Bewegung des Trägers 4 in horizontaler Richtung gegenüber dem Plasma 2 erfolgen. Möglich ist aber auch eine gleichzeitige Bewegung des Plasmas und des Trägers 4 mit dem Halbleitersubstrat in entgegengesetzte Richtungen. Diese Bewegungen werden durch die Doppelpfeile A angezeigt. Der Abstand d zwischen der Halbleitersubstratoberfläche 1a und der Hochspannungselektrode
- 30 3 kann durch Bewegung der Hochspannungselektrode 3 oder des Trägers 4 in Doppelpfeilrichtung B eingestellt werden.

Figur 2 zeigt eine Realisierung des in Figur 1 dargestellten Prinzips mittels einer

- dielektrischen Barrierenentladung in Luft, wie sie bei der Erfindung zum Einsatz kommen kann. In Figur 2 ist gegenüber der Oberfläche 1a des Halbleitersubstrats 1, das sich auf dem Träger 4 befindet, eine zweiteilige Hochspannungselektrode 31, 32 mit einer dielektrischen Barrierenschicht 31a bzw. 32a angeordnet; diese Elektroden 31, 32 sind an einen Hochspannungsgenerator 7 angeschlossen. Der Träger 4 ist als Gegenelektrode mit Erde verbunden. Zwischen den Hochspannungselektroden 31, 32 und der Oberfläche 1a des Halbleitersubstrats erfolgt eine Mikroentladung 8, die aus einem Prozeßgas 5, das aus einem Prozeßgasbehälter 6 durch das elektrische Feld zwischen den Hochspannungselektrode 31, 32 und der Oberfläche 1a fließt, ein Plasma 2 erzeugt. Während der Plasmabehandlung wird der Gasfluß aufrechterhalten, um eine Verdünnung des Prozeßgases durch Einfließen von Luft aus der Umgebung zu verhindern. Vorzugsweise wird der Abstand d zwischen der Hochspannungselektroden 31, 32 und der Halbleitersubstratoberfläche 1a auf etwa 0,5 bis 2 mm eingestellt. Die Elektrodenspannung beträgt vorzugsweise 10 bis 20 kV und die Frequenz wird vorzugsweise von 20 bis 60 kHz eingestellt. Als Prozeßgase können  $O_2$  oder  $O_3$  verwendet werden, wenn z.B. die Oberfläche 1a gereinigt oder mit einer Isolatorschicht bedeckt werden soll. Für den Schichtabtrag, der Rauigkeiten beseitigen und Oberflächenatome chemisch aktivieren soll, ist eine Plasmabehandlung mit einem Inertgas z.B. Stickstoff oder Argon, vorteilhaft.
- Die erfindungsgemäße Plasmabehandlungsvorrichtung gemäß Figur 2 wird gemäß der Erfindung mit einer vorzugsweise direkt nachgeschalteten Vorrichtung zum Bonden der Halbleitersubstrate kombiniert. Das Bonden der Substrate erfolgt bevorzugt durch Direktverbinden (d.h. ohne Zwischenschicht). Es kann aber auch nach einer Reaktion des Plasmas mit der Oberfläche des Halbleitersubstrats eine Zwischenschicht aufgewachsen werden, wobei das Bonden z.B. mittels eines Klebers erfolgt. Weiterhin können Oberflächen von Substraten behandelt werden, die bereits eine Kleber-, Lot- oder Metallschicht aufweisen. Das geschieht z.B. zum Reinigen, Abtragen von nativen Oxiden oder zur Aktivierung der Schichten.
- Die erfindungsgemäße Plasmabehandlungsvorrichtung kann sich in Prozeßrichtung hinter einer Vorrichtung für die naßchemische Behandlung der Substrate befinden. Es können auch mehrere aufeinanderfolgende Vorrichtungen für die naßchemische und die Plasmabehandlung vorgesehen sein, wobei die Reihenfolge der Vorrichtungen austauschbar ist. Die Vorrichtung

zur Plasmabehandlung kann mit einer Vorrichtung zur naßchemischen Behandlung und einer Vorrichtung zum Bonden in einer integralen Einheit zusammengefaßt sein. Die genannten Vorrichtungen können jedoch auch räumlich getrennt voneinander innerhalb einer entsprechenden Zusammenfassung (Bondcluster) angeordnet sein.

5

Die erfindungsgemäße vielseitige Anordnung der Plasmabehandlungsvorrichtung ergibt sich daraus, daß das Plasma bei Atmosphärendruck erzeugt und aufrechterhalten wird und somit auf eine Vakuumapparatur verzichtet werden kann. Damit ist ein flexibler Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich, wobei Produktionskosten und -zeiten eingespart

10 werden können.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Verbinden von mindestens zwei Halbleitersubstraten (1) durch Bonden nach einer Vorbehandlung mindestens einer der Bondflächen, dadurch gekennzeichnet dass zur Vorbehandlung auf die Bondfläche ein Plasma (2) bei Atmosphärendruck einwirkt.  
5
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Plasma (2) durch eine Koronaentladung (8) erzeugt wird.  
10
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Bondfläche (1a) durch das Plasma (2) gereinigt wird.  
15
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Bondfläche (1a) durch das Plasma (2) chemisch aktiviert wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei durch das Plasma (2) eine Schicht der Bondfläche (1a) abgetragen wird.
- 20 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei durch das Plasma (2) eine Schicht auf die Bondfläche (1a) aufgewachsen wird.
- 25 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Halbleitersubstrate (1) beim Bonden direkt miteinander verbunden werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Plasmabehandlung vor einer naßchemischen Reinigung der Halbleitersubstrate (1) erfolgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Plasmabehandlung nach einer naßchemischen Reinigung der Halbleitersubstrate (1) erfolgt.  
30
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Plasmabehandlung als letzter Prozeßschritt vor dem Bonden erfolgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei die Plasmabehandlung und die naßchemische Reinigung mehrfach erfolgen.

5 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das Plasma (2) unter Verwendung von O<sub>2</sub>- oder O<sub>3</sub>-Gas oder Inertgasen erzeugt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei das Plasma (2) über die Bondfläche (1a) des Substrats (1) bewegt wird.

10

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Bondfläche (1a) des Substrats (1) durch das Plasma (2) bewegt wird.

15

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei das Plasma (2) und die Bondfläche (1a) des Substrats (1) gegeneinander bewegt werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei das Plasma (2) gleichzeitig auf die Bondflächen (1a) mehrerer Substrate (1) einwirkt.

20 17. Vorrichtung zur Vorbehandlung der Oberflächen (Bondflächen 1a) von Halbleitersubstraten (1) vor dem Bonden mit einer Einrichtung zum Erzeugen eines Plasmas (2) durch eine Koronaentladung (8) zwischen einer Hochspannungselektrode (3; 31, 32) und einer Gegenelektrode und mit einem Träger (4) zur Anordnung mindestens eines Halbleitersubstrats (1) in dem Plasma.

25

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, wobei der Träger (4) als Gegenelektrode ausgebildet ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, wobei die Hochspannungselektrode (3) und der Träger (4) relativ zueinander bewegbar sind.

30

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, wobei die Hochspannungselektrode (3) und der Träger (4) gegeneinander in horizontaler (A) und in vertikaler (B) Richtung bewegbar sind.



21. Vorrichtung nach Anspruch 17, 18, 19 oder 20, wobei der Abstand (d) zwischen der Hochspannungselektrode (3) und der Oberfläche (1a) des Halbleitersubstrats (1) 0,5 bis 2 mm beträgt.

5 22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 21, wobei die Koronaentladung bei einer Elektrodenspannung von 10 bis 20 kV und bei einer Frequenz von 20 bis 60 kHz erfolgt.

23. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 22 zum Vorbehandeln beim Bonden von Halbleitersubstraten.

10

24. Anordnung zum Bonden von Halbleitersubstraten mit mindestens einer vorgeschalteten Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 22.

15

25. Anordnung nach Anspruch 24 mit mindestens einer vorgeschalteten Vorrichtung zur naßchemischen Reinigung.

## **Zusammenfassung**

### **Verfahren und Vorrichtung zur Vorbehandlung der Oberflächen von Halbleitersubstraten vor einem Bonden**

5

Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Behandlung der Oberflächen von Halbleitersubstraten vor einem Bonden der Halbleitersubstrate zur Verfügung gestellt. Erfindungsgemäß werden die Oberflächen von zu bondenden Halbleitersubstraten vor dem Bonden mit einem atmosphärischen Plasma behandelt. Auf diese Weise können die  
10 Oberflächen der Halbleitersubstrate gereinigt, chemisch aktiviert oder abgetragen werden. Es kann jedoch auch durch entsprechende reaktive Plasmagase eine Schicht aufgewachsen werden. Die Vorteile der Erfindung liegen in einer einfachen und kostengünstigen Herstellung von gebondeten Halbleitersubstraten, wobei eine hohe Haftfestigkeit erzielt werden kann.

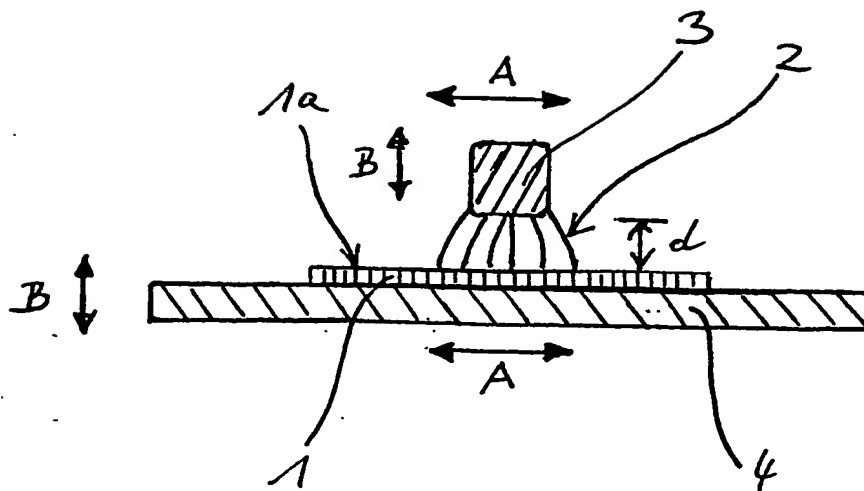


Fig. 1

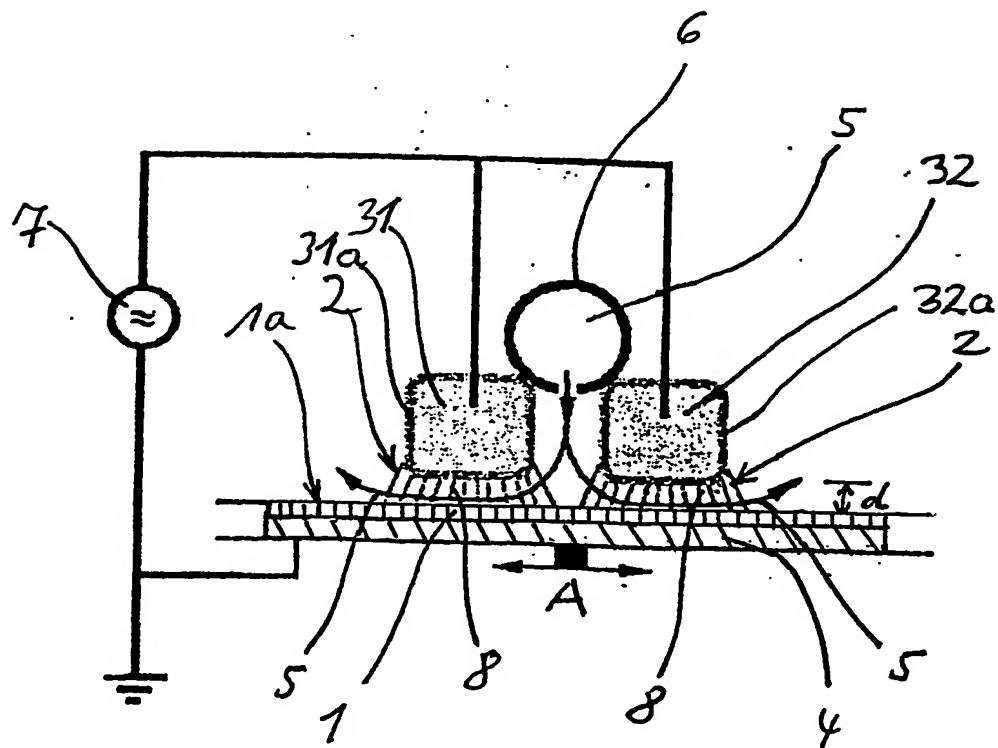


Fig. 2